Über die Respiration von Landpflanzen.

Von Dr. Jos. Boehm.

(Vorgelegt in der Sitzung am 6. März 1873.)

Es war und ist eine in der neueren Pflanzenphysiologie oft ventilirte Frage, mittelst welcher Strahlen des Spectrums die Kohlensäure von grünen Pflanzen zerlegt werde.

Um mich über die diesbezüglichen Angaben aus eigener Erfahrung zu unterrichten, habe ich, mit allerdings sehr beschränkten optischen Mitteln, seit einer Reihe von Sommern eine grosse Anzahl derartiger Versuche zuerst in kohlensäurehältigem Wasser, später in kohlensäurehältiger Luft gemacht.

Bei der Insolation der Blätter in einer aus Kohlensäure und Wasserstoff bestehenden Atmosphäre unter einer Lösung von doppeltchromsaurem Kali habe ich constant gefunden, dass die Summe der unzerlegt gebliebenen Kohlensäure und des gebildeten Sauerstoffes nie vollständig der angewendeten Kohlensäuremenge entsprach.[1]

Dies veranlasste mich, die Zerlegung gasförmiger Kohlensäure durch grüne Blätter überhaupt einem möglichst sorgfältigen Studium zu unterziehen; denn nur dadurch, dass wir Schritt für Schritt jede Erscheinung bei diesem für alles organische Leben so fundamental wichtigen Processe verfolgen, und auf ihre Ursachen zurückführen, wird es uns vielleicht endlich gelingen, einen klareren Einblick in den bisher so räthsel-

---

[1] Boussingault (Compt. rend. T. 60, pag. 872, 1865) fand bei seinen Respirationsversuchen (mit Kirschlorbeer- und Eichenblättern) bald etwas mehr, bald etwas weniger Sauerstoff als von der Kohlensäure des Versuchsgases verschwand, und zwar sowohl bei Verwendung von reiner Kohlensäure als wenn diese mit Stickgas, Wasserstoff oder atmosphärischer Luft verdünnt wurde.

haften Vorgang der Sauerstoffbildung durch grüne Blätter zu gewinnen.

Die Verlässlichkeit jedes Untersuchungsresultates hängt von der angewendeten Versuchsmethode ab. Diese muss um so sorgfältiger geprüft werden, wenn das gewonnene Resultat neu ist oder gar mit bisher gegoltenen Ansichten im Widerspruche steht.[1]

Bei den in Rede stehenden Versuchen kommt es vor allem darauf an, die Menge der Kohlensäure vor, — dieser und des gefundenen Sauerstoffes nach der Insolation auf das genaueste zu bestimmen. Ich verfuhr dabei so:

Frisch abgeschnittene Fiederblätter von *Juglans regia* wurden unter Wasser von jedem adhärirenden Luftbläschen befreit zusammengerollt und bis auf den Grund von mit Wasser gefüllten Absorptionsröhren eingeschoben. Die Länge der letzteren betrug 20—22 Ctm., die der an ihren oberen und unteren Enden abgestutzten Blätter 10—13 Ctm.

Die Absorptionsröhren wurden dann in Behälter von hinreichender Grösse unter Wasser getaucht, vollständig mit der Tags zuvor bereiteten Mischung von Wasserstoff und Kohlensäure gefüllt, mit der Daumenfläche verschlossen und in die Quecksilberwannen übertragen. Nach beiläufig 15—20 Minuten wurde ein Theil des Gases in mit Quecksilber gefüllte Röhren übertragen und das Ergebniss der eudiometrischen Analyse derselben (der „Probe") mit der Analyse des in den Absorptionsröhren zurückgebliebenen Gases nach dem Versuche verglichen.[2]

Diese Methode ist wohl nicht absolut fehlerfrei, sichert aber bei sorgfältiger Durchführung doch Resultate von für unsere Zwecke

---

[1] In der Beschreibung meiner Versuche werde ich mich übrigens möglichst kurz fassen. Ich kann dies umsoeher' als die bei derartigen Versuchen zu berücksichtigenden Fehlerquellen etc. in einer Abhandlung von Dr. W. Pfeffer („Die Wirkungen des farbigen Lichtes auf die Zersetzung der Kohlensäure in Pflanzen", Arbeiten des botanischen Institutes in Würzburg, herausgegeben von Sachs) in einer sehr lichtvollen Weise beschrieben sind.

[2] Jene Röhren, welche bestimmt waren, dem Sonnenlichte oder im Dunkeln einer bestimmten Temperatur ausgesetzt zu werden, wurden mittelst passender Glasnäpfchen aus der Quecksilberwanne gehoben.

völlig hinreichender Genauigkeit. Ausserdem dass dadurch die Entwicklung von (dem Leben der Pflanzen so schädlichen) Quecksilberdämpfen verhindert wird, darf man wohl annehmen, dass die procentische Zusammensetzung der „Probe“ von der des in den Absorptionsröhren zurückgebliebenen Gases kaum merklich verschieden sei. Nach 15—20 Minuten dürfte die Luft in den Intercellularräumen des Blattes mit der neuen Atmosphäre ziemlich ins Gleichgewicht getreten sein. Ebenso wird wohl auch das Gas der „Probe“ und das in den Versuchsröhren von dem zurückgebliebenen Wasser durch Absorption und Diffusion in sehr annähernd gleicher Weise alterirt werden.

Vor der Analyse musste das Gas natürlich vom Wasser befreit werden. Ich bewerkstelligte dies entweder durch wiederholtes Umleeren oder durch Überfüllung desselben in geeignete mit Quecksilber gefüllte Röhren, in welche sie dann eingeschmolzen wurden. Letzteres geschah dann, wenn ich wegen Mangel an Apparaten und Zeit nicht in der Lage war, die Analysen der betreffenden Gase unverzüglich vorzunehmen.

Wie schon oben bemerkt, habe ich bei den sorgfältigst ausgeführten Versuchen und Analysen nie eine vollständige Übereinstimmung zwischen dem Procentgehalte an Kohlensäure in dem angewendeten Gase v o r, und der Summe von Kohlensäure und Sauerstoff nach der Exposition gefunden. Wenn diese Differenz in der Regel auch nicht sehr gross war, so musste es doch auffallen, dass sie immer auf d e r s e l b e n Seite lag, und dies um so mehr, weil ungeachtet der Gegenwart von (Kohlensäure absorbirendem) Wasser die Summe der unzerlegt gebliebenen Kohlensäure und des gebildeten Sauerstoffes der angewendeten Kohlensäure gegenüber zu g r o s s ausfiel; in einzelnen Fällen betrug dieses Plus sogar zwischen 0.7 bis 0.8 CC.

Zur Erklärung dieser auffallenden Thatsache sind mancherlei Hypothesen denkbar.

Um zu erfahren, mit welchem Antheile an dem gefundenen Überschusse von Sauerstoff und Kohlensäure die in den Intercellularräumen und in dem Zellsafte[1] des Blattes enthaltenen

---

[1] Den Absorptionscoëfficienten des Inhaltes assimilirender Zellen für Gase kennen wir nicht; dass derselbe sich für Sauerstoff und

Gase vielleicht participiren, operirte ich bei den ferneren Versuchen blos mit reinem Wasserstoffgase, welches aus dem Entbindungsapparate directe in die mit Wasser und den Blättern gefüllten Versuchsröhren geleitet wurde, erhielt aber in den verschiedenen Fällen die buntesten Resultate. Die „Proben" enthielten kaum nachweisbare Spuren von Kohlensäure, nie aber Sauerstoff. Nach der Insolation fand ich stets eine geringe Menge von Kohlensäure, indess der Gehalt an Sauerstoff ein sehr variabler war. Bisweilen fehlte derselbe ganz (siehe Schluss der Abhandlung), meist waren nur Spuren vorhanden, in seltenen Fällen aber übertraf dessen Menge das Volumen des zum Versuche verwendeten Blattes. So stand ich denn vor einem scheinbar ganz unlösbaren Räthsel, bei welchem blos das zweifellos war: dass das als Überschuss gefundene Gas aus dem Blatte stammen musste.

Dies veranlasste mich, mein Augenmerk zunächst der in der Pflanze enthaltenen Luft zuzuwenden. Über die hierbei gewonnenen Resultate werde ich nächstens berichten; eine kurze diesbezügliche Mittheilung ist bereits in dem Anzeiger der kais. Akad. d. W. 1872 p. 164 abgedruckt.

Um die in den Pflanzen enthaltene Luft zu eudiometrischer Untersuchung zu gewinnen, bediente ich mich unter anderem der Torricellischen Leere. Es wurden Zweige oder Blätter an einem blanken weichen Eisendrahte befestiget, in überbarometerlange, mit Quecksilber gefüllte Eudiometer eingeführt. Anfangs entwichen aus dem Versuchsobjecte natürlich viele Luftblasen, aber zu meinem nicht geringen Erstaunen wollte die Gasentwicklung aus denselben gar kein Ende nehmen. Ein 8.7 Grm. schwerer Zweig entband innerhalb 4 Tagen 11·3 C. Ctm. Gas, welches grösstentheils von Kali absorbirt wurde.

Ich habe vor einer Reihe von Jahren gezeigt, dass in todten, unter Wasser getauchten Landpflanzen Buttersäuregährung auftritt. Es lag nun die Vermuthung nahe, dass ein Gleiches

---

Kohlensäure möglicher Weise ähnlich verhalte wie die Blutkörperchen, ist allerdings nicht wahrscheinlich, aber auch von vorneherein nicht ohneweiters als absurd zurückzuweisen. — Im Zellsafte sind auch kohlensaure Salze enthalten, welche entweder durch Aufnahme oder Abgabe von Kohlensäure die Quantität und Qualität des Versuchsgases etwas ändern können.

auch bei den in Rede stehenden Versuchen der Fall sei. Das Fehlen von Wasserstoff in dem entbundenen Gase spricht nicht gegen diese Annahme (bei gährenden Hülsenfrüchten wird anfangs ebenfalls meist nur reine Kohlensäure ausgeschieden), wohl aber der Umstand, dass die Gasentwicklung unter besagten Umständen allsogleich auftritt, während bei der Buttersäuregährung dies erst dann der Fall ist, nachdem die Objecte 2—3 Tage lang unter Wasser gelegen sind.

Um dem allfälligen Gedanken an eine Aufspeicherung von durch irgend welche Ursache im Pflanzenleibe verdichteter Kohlensäure zu begegnen, will ich nicht unerwähnt lassen, dass die Kohlensäureentwicklung auch sofort erfolgt, wenn die Pflanzen bei gewöhnlichem Drucke unter Quecksilber getaucht werden.

Wenn auch nicht wahrscheinlich, so wäre es doch auch nicht absolut unmöglich, dass in den Landpflanzen eine Substanz enthalten sei, welche mit Quecksilber oder Quecksilberdämpfen in Berührung sich irgendwie verändern und dabei Kohlensäure abspalten würde. Wurden jedoch getrocknete Zweige unter Quecksilber gebracht, so unterblieb bei gewöhnlichem Drucke die Gasentwicklung ganz, in der torricellischen Leere entwich nur eine der Grösse des Objectes entsprechende Luftmenge. Ein Gleiches war auch der Fall bei in kochendem Wasser oder heissem Wasserdampfe getödteten Zweigen.

Nach diesen Ergebnissen konnte es nicht dem geringsten Zweifel mehr unterliegen, dass die beschriebene Erscheinung eine Function des Zelllebens der Versuchsobjecte sei.

Die Lebensprocesse sämmtlicher Organismen wickeln sich auf Kosten von Kräften ab, welche durch Oxydation organischer Stoffe geliefert werden. In der Luft oder im Wasser lebende Thiere[1] sterben in sauerstofffreien Medien unverzüglich. Von grünen Landpflanzen ist bekannt, dass sie im Dunkeln in sauerstofffreier Atmosphäre bald zu Grunde gehen, während sie sich unter Einwirkung des Lichtes lange erhalten können. Man setzt voraus, dass sie sich im letzteren Falle den zum Leben unent-

[1] Über die Art und Weise der Respiration von Eingeweidewürmern etc. liegen, so viel ich weiss, keine Untersuchungen vor.

behrlichen Sauerstoff aus der in den Intercellularräumen vorhandenen Kohlensäure bereiten.

Eine von dem Vorhandensein freien Sauerstoffes unabhängige Existenz führen die Hefezellen. Herrn Dr. Adolf Mayer[1] gebührt das Verdienst, auch diesen Fall unter das allgemein als Existenzbedingung der Organismen geltende Gesetz gebracht und dadurch zugleich unsere Einsicht in das Wesen der Gährung ausserordentlich gefördert zu haben. Die Hefezellen schaffen sich die zur Vollziehung ihrer Lebensfunctionen nöthigen Kräfte durch „innere“ Verbrennung, — bei der geistigen Gährung durch Spaltung des Zuckers in Kohlensäure und Alkohol.

In Folge der mannigfachen Untersuchungen von Hoffmann, Bail u. s. w., insbesondere aber durch jene von Reess ist bekannt, dass sämmtliche Pilze, welche die Alkoholgährung bewirken, sich auf geeigneter Unterlage an der Luft nicht nur cultiviren lassen, sondern nur in diesem Falle zur Fruchtbildung gelangen.

In Erwägung dieser Thatsachen schien es nun sehr wahrscheinlich, dass die Kohlensäureentwicklung aus lebenden Zweigen und Blättern unter Quecksilber nicht durch letzteres an sich, sondern nur deshalb veranlasst wird, weil in ihm die Pflanzen vom Sauerstoffe abgesperrt sind. Diese Vermuthung wurde auch durch den Versuch vollkommen bestätiget. Aus entrindeten Syringa-Zweigen erfolgt in sauerstofffreier Atmosphäre unter günstigen Temperaturverhältnissen eine recht lebhafte Entwicklung von Kohlensäure.[3]

---

[1] Adolf Mayer, Untersuchungen über die alkoholische Gährung. Poggendorf Annal. Bd. 142, p. 393, und Landw. Versuchs-Station, herausgegeben von Prof. Dr. F. Nobbe, Bd. 14, 1871.

[2] Man Reess, botanische Untersuchungen über die Alkoholgährungspilze, Leipzig, 1870.

[3] Meine Ansicht über die vollständige Analogie zwischen der Function von Hefezellen und der von beliebigen anderen lebenden Landpflanzen in sauerstofffreien Medien habe ich bereits im Anzeiger der kais, Akad. d. W. 1872, pag. 164, in folgendem Satze ausgesprochen: „Ob dabei auch Alkohol gebildet werde, müssen spätere Untersuchungen lehren.“ Nach einer Correspondenz von A. Henninger aus Paris (Berichte der deutschen chemischen Gesellschaft zu Berlin, 1872) ist dies nicht mehr nothwendig. Pasteur hat bereits in unter Wasser getauchten

Mit diesem Ergebnisse war auch das oben erwähnte Räthsel über die Differenz zwischen der Kohlensäuremenge vor, — und der Summe des Kohlensäure- und Sauerstoff-Quantums nach der Insolation mit einem Schlage gelöst und die Provenienz des Überschusses in letzterem Falle aufgeklärt. Es wurden nun folgende Versuche gemacht:

Nachdem die mit grünen Blättern, Wasserstoff oder Kohlensäure gefüllten Absorptionsröhren in den Quecksilberwannen aufgestellt waren, wurde der Stand des Quecksilbers vorläufig notirt, das Gaszimmer verdunkelt und meist nach 30 bis 45 Minuten definitiv abgelesen. Dabei zeigte es sich ausnahmslos, dass das Gasvolum nicht nur nicht, wie es in Folge der Abkühlung der beim Zusammenstellen erwärmten Apparate normaler Weise hätte geschehen sollen, verkleinert, sondern im Gegentheile etwas vergrössert war. Die Absorptionsröhren wurden dann vermittelst Glasnäpfchen aus dem Quecksilber gehoben, theils directe, theils unter schwarzen Tuchhüllen, während 6—7 Stunden dem Sonnenlichte exponirt, sodann wieder in das Gaszimmer übertragen und in der früheren Ordnung aufgestellt. Über die während der Exposition verdunkelten Röhren wurde bis zur Ablesung, welche wegen der grossen Erwärmung während der Insolation nie vor einer Stunde erfolgte, ein schwarzes Tuch gebreitet.

Bei 8 Versuchsreihen, welche ich mit Blättern von *Juglans regia*, *Platanus orientalis*, *Fraxinus Ornus*, *Syringa vulgaris* *Quercus Cerris*, *Acer Pseudoplatanus*, *Cydonia vulgaris* und *Salix fragilis* gemacht habe, war die Volumvergrösserung der Gase in den dem Lichte ausgesetzten Apparaten wohl eine sehr geringe, aber constante, während dieselbe in den verdunkelten Apparaten stets eine sehr auffällige war und nicht selten 4—5 CC. betrug. [1] Im ersteren Falle schafft sich die Pflanze die zu ihren

---

grünen Pflaumen und Rhabarberblättern Alkohol nachgewiesen. Die Function lebender Landpflanzen in sauerstofffreien Medien gleicht also vollständig jener der gewöhnlichen Hefezellen bei der Selbstgährung.

[1] Boussingault's Angaben über die Änderung des Gasvolumens bei ähnlichen, aber zur Lösung anderer Fragen angestellten Versuchen stimmen mit meinen Beobachtungen nicht überein. So blieb z. B. bei einem am 17. August 1864 in reiner Kohlensäure gemachten Versuche das Gas-

Lebensfunctionen nothwendige Kraft durch innere Verbrennung unter Kohlensäurebildung nur so lange, bis aus dieser und der in dem Blatte enthaltenen Kohlensäure so viel Sauerstoff erzeugt wurde als zur normalen Respiration nothwendig ist. Diese Menge ist aber eine sehr geringe,[1] da die auf seine Kosten gebildete Kohlensäure neuerdings zerlegt wird u. s. f.

Es schien wahrscheinlich, dass unter sonst gleichen Bedingungen, die Menge der bei der inneren Athmung gebildeten Kohlensäure von der Grösse der Versuchsblätter[2] abhänge. Es zeigte sich jedoch bald, dass dies bei weitem nicht immer und nie vollständig der Fall ist.

So weit war ich mit meinen Untersuchungen bis zum Schlusse des Sommers 1871 gekommen. Die Ferienmonate der zwei folgenden Jahre benützte ich, um einige weitere Fragen, welche sich in Folge der bisher festgestellten Thatsache von selbst aufwarfen, zu beantworten. Die Zussammenstellung der Apparate wurde bei den meisten Versuchen gegen 7 Uhr Früh in Angriff genommen, so dass die Exposition gegen 9 Uhr beginnen konnte. Als Versuchsobjecte wurden ausschliesslich frisch gepflückte Fiederblätter von *Juglans regia* verwendet. Zur Bestimmung der Temperatur in den directe und in den unter einer undurchsichtigen Decke insolirten Apparaten wurden in zwei in gleicher Weise wie die Absorptionsröhren gefüllte kleine Glas-

---

volumen nach 10stündiger Insolation unverändert, während bei einem andern derartigen Versuche am 7. Juli 1864 in einer Mischung von Kohlensäure und atmosphärischen Gasen nach 4 Stunden eine Volumszunahme von 1·9 CC. beobachtet wurde. Compt. rend. tom. 69, pag. 872. Die durchgehends geringen Volumdifferenzen, welche Pfeffer bei seinen zahlreichen und musterhaft durchgeführten Versuchen in mit atmosphärischer Luft stark verdünnter Kohlensäure gefunden hat, sind in Bezug auf das ursprüngliche Volumen öfters negativ als positiv.

[1] In bereits ausgewachsenen Blättern scheint kein Sauerstoff fixirt zu werden, wie dies z. B. bei der Keimung der Fall ist.

Bei jedem der beschriebenen Versuche wurde die gebildete Kohlensäure mit Kali absorbirt und bei allen insolirten Apparaten nach Einlass von Knallgas in die Endiometer auch auf die Gegenwart von Sauerstoff geprüft.

[2] Das Volumen der Versuchsblätter wurde durch Einschieben dieser in die über die Hälfte mit Wasser gefüllten Absorptionsröhren bestimmt.

cylinder kurze Thermometer eingeschoben und neben den ersteren aufgestellt. Bemerken will ich noch, dass mein Quecksilbertisch die gleichzeitige Analyse von 10 Gasen (nach der Bunsen'schen Methode) gestattet. Bei der grossen Anzahl der nothwendig gewordenen Versuche war eine solche Einrichtung unerlässlich.[1]

Die Resultate der Versuche und Analysen habe ich, vorzüglich aus typographischen Gründen, am Schlusse der Abhandlung tabellarisch zusammengestellt. Sämmtliche Gasvolumina sind auf eine Temperatur von 0° C. und auf 760 Mllm. Quecksilberdruck reducirt.

Die Tabelle I. enthält die Resultate einer Versuchsreihe von *Juglans*-Blättern in Wasserstoff an der Sonne unter Wasser.[2] Die Temperatur des Kühlwassers stieg bis 32° C., die in dem Rohre mit dem Thermometer (und somit wohl auch in den Absorptionsröhren) bis zu 33° C.

Die Vergrösserung des Gasvolumens während der Insolation[3]

---

[1] Jene Collegen, welche sich mit derartigen Untersuchungen beschäftigen, wissen, wie zeitraubend dieselben an sich sind und dass man einen Einblick in das Resultat einer Versuchsreihe erst nach mannigfachen Reductionen der bei der Ablesung gewonnenen Zahlen bekommt. Zudem habe ich in Folge der Reform der Handelsakademie nur sehr beschränkte, für die Fortsetzung mehrerer Untersuchungen aber gar keine Räumlichkeiten, keinen Diener oder sonst welche Unterstützung und wöchentlich eine Überzahl von Unterrichtsstunden!

[2] In den directe insolirten lufthältigen, mit Quecksilber abgesperrten Röhren steigt die Temperatur an heissen Sommertagen oft über 40° C. Um dies zu verhindern, wurden die Apparate dort, wo es nothwendig war, in mit Wasser gefüllte Glascylinder eingesenkt. Einem allfälligen Aufsteigen der Röhren wurde durch Einklemmen derselben in die Glasnäpfchen mittelst Kork vorgebeugt.

[3] Unter allen Ablesungen bei den in Rede stehenden Untersuchungen erfordert die Bestimmung der Volumvermehrung während der Exposition wegen der relativ grossen Wassermenge in den Absorptionsröhren (1—2 CC.) die grösste Sorgfalt. Es vergrössert sich nämlich während der Exposition die kleine Wassersäule über dem Quecksilber in Folge des langsamen Ablaufens des Wassers an der Oberfläche des Blattes und an den Seitenwänden der Gasröhre bisweilen um einen Millimeter. Es versteht sich, dass die betreffende Grösse zur „oberen" Ablesung addirt werden muss, während dieselbe bei der Reduction des Gasvolumens auf

war in allen Fällen geringer als die Summe der gefundenen Kohlensäure und des gebildeten Sauerstoffes. Diese Differenz ist auch häufig viel zu gross, als dass dieselbe durch die aus den Blättern diffundirten Gase (Kohlensäure und Sauerstoff; der Stickstoff dieser Quelle ist in dem indirecte bestimmten Volumen des Wasserstoffes enthalten) erklärt werden könnte, zumal da die „Proben" nur Spuren von Kohlensäure und gar keinen Sauerstoff enthielten. Nichts erscheint aber nach dem oben angeführten natürlicher, als die Provenienz dieses bei allen derartigen Versuchen in sauerstofffreien indifferenten Gasen auftretenden „Überschusses." Es ist derselbe ein Product innerer Verbrennung während der Zeit nach der Einführung der Blätter in die Absorptionsröhren bis zur ersten Ablesung vor der Exposition. Ein geringer Antheil dieses Überschusses stammt aber auch aus den Intercellularräumen und dem Zellsafte des Versuchsblattes.

Die Tabelle II. enthält die Resultate einer gleichzeitig mit der vorhergehenden angestellten Versuchsreihe, bei welcher jedoch über die insolirten Apparate eine undurchsichtige schwarze Decke gebreitet wurde. Die Temperatur stieg hier nur bis auf 29·4° C. Die Volumvermehrung war in allen Fällen eine bedeutende, aber wie schon oben bemerkt, der Grösse des Blattes nicht proportional.

Die Menge der gebildeten Kohlensäure in sauerstofffreier Umgebung ist offenbar ein Mass für die Intensität der „inneren Verbrennung" lebender Blätter im Dunkeln. Es lag nun die Frage nahe, in wie weit dieselbe einerseits von der Natur des angewendeten Gases und anderseits von der Temperatur abhängig sei. Diesbezügliche Versuche zeigten, dass sich Kohlensäure, Kohlenoxyd und Stickstoff[1] ganz so verhielten wie Wasser-

---

einen bestimmten Druck natürlich in anderer Weise in Rechnung zu bringen ist.

[1] Bei den Versuchen mit Stickstoff erhielt ich anfangs, zu meiner nicht geringen Überraschung, sehr abweichende Resultate, doch bald löste sich der Widerspruch. Ich bereitete mir das Stickgas aus atmosphärischer Luft durch Absorption des Sauerstoffes mittelst blanker, feuchter Phosphorstücke. Obwohl diese mindestens 24 Stunden in den beiläufig

stoff, während sich Schwefelwasserstoff als tödtliches Gift erwies. In den mit diesem Gase gefüllten Apparaten erfolgte während der Versuchsdauer aus begreiflichen Gründen sogar eine geringe Volumsverminderung und nach 6½ Stunden waren die Blätter grösstentheils missfarbig.

Von grossem Einflusse für die Menge der von *Juglans*-Blättern in Wasserstoff im Dunkeln gebildeten Kohlensäure erwies sich, wie es wohl auch vorauszusehen war, die Temperatur (Tabelle III, IV, V). Bei 5·7° C. ist die nach Abzug des Kohlensäure-Überschusses[1] auftretende Volumvergrösserung eine relativ sehr geringe.

Unter dem Gefrierpunkte des Wassers scheint die Function lebender Pflanzen gänzlich zu ruhen. Ein 6.41 Grm. schwerer Zweig von Syringa, welcher in einem geeigneten Glasapparate bei gewöhnlichem Drucke in langsam schmelzenden Schnee vergraben wurde, secernirte während 10 Tagen nicht eine einzige Gasblase. Nach Transferirung des Apparates in mein Arbeitszimmer wurden bei einer Temperatur von 9—18° C. während 4 Tagen 3·17 CC. Gas abgeschieden, welche von Kali bis auf einen kleinen Rest absorbirt wurden.

Bei den Versuchen, deren Resultate in der Tabelle I zusammengestellt sind, ist das Volumen des gefundenen Sauerstoffes in Anbetracht der Bedingungen seiner Bildung wohl auffällig, aber im Vergleiche zu jenen Mengen, welche ich bei mehreren früheren derartigen Versuchen a u s n a h m s w e i s e fand, doch nur eine sehr geringe. Solche Ausnahmsfälle waren, wie es nun wohl zweifellos ist, offenbar jene, bei welchen ich durch irgend welchen Grund verhindert wurde, die zusammengestellten Apparate baldmöglichst dem Lichte auszusetzen. Die Tabellen VI, VII und VIII enthalten nun die Resultate jener Versuche, bei welchen die Apparate vor der Insolation a b s i c h t l i c h kürzere oder längere

---

50 CC. fassenden, mit Quecksilber abgesperrten Röhren verblieben, so fanden sich doch bei der eudiometrischen Analyse des rückständigen Gases in vielen Fällen noch 1—3% Sauerstoff.

[1] Dieser „Überschuss" wurde, wie schon früher bemerkt, im Gaszimmer in der Zeit nach der Zusammenstellung der Apparate und der ersten Ablesung gebildet; zum geringen Theile stammt er wohl auch aus dem Blatte.

Zeit im Dunkeln stehen gelassen wurden. Während in jedem der fünf Apparate (Tabelle VI), welche von der Insolation nur während 4 ½ Stunden bei einer Temperatur von 21·4° C. im verdunkelten Gaszimmer verblieben, Sauerstoff gefunden wurde, war dies von den 10 Apparaten (Tabelle VII), welche durch 12 Stunden im Dunkeln verblieben, blos in 4, und bei den durch 15 Stunden verdunkelt gewesenen Apparaten (Tabelle VIII) gar nur in einem einzigen der Fall; in den übrigen dauerte auch nach der Insolation die Kohlensäurebildung noch fort. Es ergibt sich hieraus also die gewiss sehr bemerkenswerthe Thatsache, dass die Blätter nach mehrstündiger Aufbewahrung in sauerstofffreier Atmosphäre vorübergehend oder für immer die Fähigkeit verlieren, in dieser sauerstofffreien Luft Kohlensäure zu zerlegen, ohne dass sie aufgehört hätten zu leben. Sie fahren fort, sich die zu ihren Lebensfunctionen nothwendigen Kräfte durch innere Verbrennung zu verschaffen.

Die Versuche, deren Resultate in den Tabellen IX und X zusammengestellt sind, geben Aufschluss über die nun nahe liegende Frage: wie viel Kohlensäure von einem bestimmten Blatte durch innere Verbrennung überhaupt gebildet werde?

Diese Menge variirt in hohem Grade mit der Temperatur. Vom zweiten Tage ab erfolgte in keinem Apparate mehr eine nennenswerthe Volumszunahme, ja in einigen Fällen früher schon eine geringe Volumverminderung. (Diese ist offenbar bedingt durch Absorption gebildeter Kohlensäure von Seite des in den Röhren zurückgebliebenen Wassers. Vielleicht wurde ein geringer Theil dieser Kohlensäure auch zur Bildung von Doppelsalzen in den Zellsäften verbraucht.) Lebhaftere „innere Verbrennung" bedingt also nicht einen früheren Tod des Versuchsblattes.

Boussingault[1] fand, dass Oleanderblätter erst nach 48stündigem Verweilen in Kohlensäure, Stickstoff oder Sumpfgas im Dunkeln bei einer Temperatur von 22—23° C. die Fähigkeit verlieren, in einer Mischung von Kohlensäure und atmosphärischer Luft Sauerstoff zu bilden. In einem Falle wurde von einem Blatte, welches während 48 Stunden im Dunkeln in Wasser

[1] Compt. rend. tom. 61, pag. 605; 1865.

stoff aufbewahrt worden war, nach 5stündiger Insolation noch 2·6 CC. Kohlensäure zerlegt.

Aus diesen und den oben angeführten Versuchen folgt, dass Blätter, welche durch Aufbewahrung in indifferenten sauerstofffreien Gasen die Fähigkeit verloren haben, bei Abwesenheit von Sauerstoff Kohlensäure zu zerlegen, selbe in einer sauerstoffhältigen Atmosphäre noch besitzen und zwar so lange, als sie überhaupt leben, d. i. im Dunkeln in Folge innerer Verbrennung noch Kohlensäure bilden.

Um zu erfahren, in welchem Verhältnisse die von insolirten grünen Blättern zerlegte Kohlensäure und der von derselben in atmosphärischer Luft im Dunkeln consumirte Sauerstoff stehe, hat Boussingault[1] mehrere Versuche gemacht, auf welche ich hiermit verweise.

Die Frage: wie viel Sauerstoff von einem lebenden Organismus in einer bestimmten Zeit unter verschiedenen Verhältnissen zur Bildung von Kohlensäure verbraucht wird, ist von Seite der Pflanzenphysiologen noch wenig erörtert.

Lebende Pflanzen verbrennen bei ihrer Vegetation in sauerstoffhältiger Luft einen Theil ihres Leibes und schaffen sich so die für das Zellleben nothwendigen Kräfte. Es kann uns demnach die Menge der von einer lebenden Pflanze in einer gewissen Zeit gebildeten Kohlensäure füglich als Mass für die Intensität der sich in ihr abwickelnden Lebensprocesse gelten, wobei natürlich die Frage, ob diese Processe normale, d. i. die möglich lange Dauer des Lebens fördernde, oder krankhafte seien, unentschieden bleibt.

Von lebenden Pflanzen in sauerstofffreien Medien müssen diese Kräfte durch innere Verbrennung ausgelöst werden. Über die Grösse der hierbei gebildeten Kräfte und besonders darüber, in wieweit dieselben dazu dienen, die vegetabilische Maschine im Gange zu erhalten, fehlt uns jede Vorstellung.

In den Tabellen XI—XVIII habe ich die Ergebnisse jener Versuche zusammengestellt, welche ich mit Fiederblättern von *Juglans* in gemessenen Mengen atmosphärischer Luft bei verschiedenen Temperaturen, im Lichte und im Dunkeln, gemacht

[1] Compt. rend. tom. 60, pag. 877, et tom. 61, pag. 605; 1865.

habe. Die Consequenzen aus den mit vieler Sorgfalt gewonnenen Zahlen ergeben sich wohl von selbst[1]. Vor Allem fällt es in die Augen, dass bei einer Temperatur von 39·8° C. im Sonnenlichte, relativ viel, grösstentheils auf Kosten des atmosphärischen Sauerstoffes gebildete Kohlensäure gefunden wurde (Tabelle XI). In wie weit diese Kohlensäure aber als ein Product der Respiration oder Oxydation eines Theiles des bei der hohen Temperatur abgestorbenen Blattes zu betrachten sei, muss vorläufig unentschieden bleiben (das Blatt eines Apparates zeigte nach der Exposition mehrere braune Flecken). Gleichwol scheinen mir aber die Resultate der ganzen Versuchsreihe dafür zu sprechen, dass die Blätter von *Juglans* bei einer Temperatur von 39·8° C. nicht mehr die Fähigkeit besitzen, so viel Kohlensäure zu zerlegen, als durch den Respirationsprocess gebildet wird.

Aus den Tabellen XII und XIII scheint mir ersichtlich zu sein, dass für *Juglans regia* das Temperatur-Optimum im Sonnenlichte in der Nähe von 30° C. liege. — Der geringe Kohlensäure-Überschuss, welcher sich bei den Versuchen in zerstreutem Lichte vorfand, stammt, wie sich aus der fast unveränderten Sauerstoffmenge ergibt, grösstentheils aus den Versuchsblättern. Die Lichtintensität scheint bei dieser Versuchsreihe gerade ausgereicht zu haben, um die in Folge der Respiration gebildete Kohlensäure wieder zu zerlegen. Hierbei muss ich aber bemerken, dass mir bei meinen zahlreichen Versuchen im Laufe der Jahre nur zwei Fälle vorkamen, bei welchen von grünen Blättern in kohlensäurehältiger Luft auch die letzte Spur von Kohlensäure zerlegt wurde. Ähnliches fand auch Pfeffer in kohlensäurearmer Atmosphäre, während Boussingault relativ viele Fälle anführt, bei welchen in kohlensäurereichen Gasen alle Kohlensäure zerlegt wurde.

Von besonderem Interesse ist das Verhalten der *Juglans*-Blätter in atmosphärischer Luft bei niederer Temperatur. Während nämlich bei 6—10° C. im Sonnenlichte auf Kosten des

[1] Bei allen meinen Versuchen mit Juglans-Blättern in atmosphärischer Luft wurde das Gasvolumen, solange Sauerstoff vorhanden war, entweder gar nicht oder doch nur in soweit geändert, als die Ursache hierfür in den Absorption gebildeter Kohlensäure durch das in den Röhren vorhandene Wasser bedingt war.

Sauerstoffes sich konstant eine merkliche Menge von Kohlensäure bildete (Tabelle XV), wurde bei 9°—10° C. selbst in einer kohlensäurereichen Gasmischung bei directer Insolation noch ziemlich viel Sauerstoff erzeugt (Tabelle XIX). Die Annahme, dass bei einer niederen Temperatur und Gegenwart von relative viel Sauerstoff (Tabelle XV) durch die Respiration mehr Kohlensäure gebildet als bei Anwesenheit von wenig Sauerstoff (Tabelle XIX) zerlegt werde, wird durch die Versuchsresultate im Dunkeln in atmosphärischer Luft (Tabelle XVIII) unzulässig. Vielleicht ist der Widerspruch darin begründet, dass von *Juglans*-Blättern bei einem niederen Wärmegrade in einer Atmosphäre, welche sehr arm ist an Kohlensäure, diese nur mehr unvollständig zerlegt werden könne. Ich muss aber bemerken, dass mir auch diese Erklärung nicht sehr wahrscheinlich vorkommt.

Die Ergebnisse jener Versuchsreihen, welche mit *Juglans*-Blättern in atmosphärischer Luft im Dunkeln bei verschiedener Temperatur ausgeführt wurden, sind in den Tabellen XVI, XVII und XVIII zusammengestellt. Es wird daraus der grosse Einfluss des jeweiligen Wärmegrades auf die Intensität der Respiration ersichtlich. Dass in jenen Fällen, bei welchen während der Versuchsdauer viel oder aller [1] Sauerstoff verbraucht wurde, die gefundene Kohlensäuremenge der berechneten gegenüber zu gering ausfiel, ist der Hauptsache nach wenigstens, wie schon oben erwähnt wurde, durch die Kohlensäure-Absorption des in den Röhren zurückgebliebenen Wassers bedingt.

Um zu erfahren, ob und mit welchem Antheile beiläufig die in dem Blatte beim Beginne eines Versuches enthaltene Kohlensäure bei der Änderung der Qualität der Atmosphäre participirt, wurden in 3 Apparate der Versuchsreihe bei 5—7° C. im Dunkeln (Tabelle XVIII) je 3 kleinere Blätter gebracht. Wie aus

---

[1] Eine ganz ähnliche Erscheinung beobachtete auch Boussingault. Mehrere Oleander-Blätter, zusammen 95□ C. gross, wurden in 87·3 CC. atmosphärischer Luft eingeschlossen. Nach 30½ Stunden an einem dunklen Orte bei 22° aufbewahrt, war aller Sauerstoff (18·3 CC.) verschwunden, dafür 19·6 CC. Kohlensäure und 1·7 CC. Stickstoff entwickelt und dabei das Luftvolumen um 3·0 CC. vergrössert. Boussingault meinte, dass dieser Umstand auf eine beginnende Veränderung der Blätter hinzudeuten scheine. Compt. rend. tom. 61, pag. 605; 1865.

anderen Untersuchungen, die ich über die in den Geweben lebender Pflanzen enthaltene Luft gemacht habe, vorauszusehen war, wurde dadurch der Kohlensäuregehalt nicht unbedeutend vergrössert.

Schliesst man in gleicher Weise wie es bei den obigen Versuchen geschah, ein beiläufig 1·0 CC. grosses *Juglans*-Blatt bei einer Temperatur von 15—17° C. im Dunkeln in beiläufig 30—35 CC. atmosph. Luft ein, so bräunt sich dasselbe noch vor dem Verbrauche des vorhandenen Sauerstoffes und das Gasvolumen vergrössert sich dann (offenbar in Folge bereits eingetretener Gährung) nur mehr wenig; dasselbe ist der Fall, wenn der Versuch mit reinem Sauerstoffgase gemacht wird.

Es wird behauptet, dass die Menge der unter sonst gleichen Verhältnissen von thierischen Organismen exspirirten Kohlensäure mit dem Procentgehalte des Sauerstoffes der sie umgebenden Atmosphäre variirt. Ob Ähnliches auch bei ausgewachsenen *Juglans*-Blättern stattfinde, müssen weitere Untersuchungen lehren. Keimende Bohnen verzehren unter sonst gleichen Verhältnissen, wie ich hier vorläufig bemerken will, in reinem Sauerstoffgase nicht mehr Sauerstoff als in atm. Luft.

Es ist häufig nicht leicht zu entscheiden, ob die Kohlensäureentwicklung aus Pflanzentheilen in sauerstofffreien Medien in Folge von Buttersäuregährung oder innerer Verbrennung erfolgt. Ich habe seit dem Erscheinen meiner Abhandlung über die Gasentwicklung aus abgestorbenen Pflanzentheilen eine grosse Reihe derartiger Versuche gemacht, die ich aber aus Mangel an Zeit bisher immer noch nicht zum Abschlusse bringen konnte. Hier will ich nur vorläufig bemerken, dass Kohlensäurebildung einerseits in Folge innerer Verbrennung und anderseits bedingt durch Buttersäuregährung (im letzteren Falle ein sicheres Zeichen des bereits erfolgten Todes) sich selbst in verschiedenen Theilen desselben Objectes begleiten können. Sehr leicht kann man sich hiervon überzeugen, wenn man geschälte Bohnen auf einer feuchten Unterlage keimen lässt und dann in kohlensäurehältiges Wasser von 18—20° C. taucht. Nach kurzer Zeit entwickeln sich sodann zahlreiche Gasbläschen. (In einer

grossen Quantität gewöhnlichen Wassers unterbleibt diese Erscheinung entweder ganz oder wird doch minder auffällig; es ist nämlich die entbundene Kohlensäure von Wasser absorbirt.) Bringt man die Keimlinge nach 12 Stunden wieder an Luft und Licht, so wachsen sie ungehindert weiter, nur die Spitzen mancher Wurzeläste verfaulen. Nicht selten ertragen sie auch ohne auffallenden Schaden selbst einen 24stündigen Luftabschluss. Nach zweitägiger Immersion sind die Wurzeln sowie die Spitzen der jungen Stängel stets todt und die Cotylen ergrünen nur mehr stellenweise, während benachbarte Partien verfaulen. Dabei entwickeln sich meist die sonst latent bleibenden Axillarknospen der Samenlappen.

Bei meinen eingangs der Abhandlung erwähnten Versuchen über die Wirkung bestimmter Strahlen des Spectrums bei der Zerlegung der Kohlensäure durch grüne Pflanzen verwendete ich Lösungen von doppeltchromsaurem Kali und Kupferoxydammoniak. Ich verfuhr dabei ganz einfach: die mit Quecksilber abgesperrten Röhren wurden in Glascylinder gestellt, welche mit der einen oder anderen der gefärbten Flüssigkeit gefüllt wurden.

Unter Kupferlösungen einer solchen Concentration, dass durch eine 4 Ctm. dicke Schichte keine gelben und rothen Strahlen mehr durchgelassen wurden, erhielt ich Resultate, welche von denen der Versuche im Dunkeln nicht verschieden waren. In reinem Wasserstoffgase oder in Mischungen von Wasserstoff und Kohlensäure wurde nie auch nur eine Spur von Sauerstoff gebildet; es erfolgte stets eine bedeutende Volumvergrösserung.

Am 7. August 1872 habe ich diese Versuche in einem grossen ovalen Cylinder von 25 respect. 41 Ctm. Durchmesser mit einer Lösung wiederholt, welche bei der spectroskopischen Untersuchung durch eine 4 Ctm. dicke Schichte noch viel gelbes und rothes, — durch eine 8 Ctm. dicke Schichte aber nur mehr Spuren von rothem Licht durchliess. 5 Apparate wurden in der Mitte längs des grösseren Durchmessers des Cylinders, und 5 in der Nähe der Wand desselben so aufgestellt, dass sich zwischen den Absorptionsröhren und der Cylinderwand eine 2—4 Ctm. dicke Flüssigkeitschichte befand. Die Insolation dauerte

von 9—4 Uhr; bei fast wolkenlosem Himmel stieg die Temperatur der Kupferlösung bis 29° C.

Die Resultate dieser Versuchsreihe finden sich in den Tabellen XX, XXI übersichtlich zusammengestellt. Es ist daraus ersichtlich, dass in den in der Mitte des Cylinders aufgestellten Apparaten, zu welchen nur eine sehr geringe Menge rother Lichtstrahlen gelangte, gar kein Sauerstoff, dem entsprechend aber viel Kohlensäure gebildet wurde. — Dass Pfeffer bei seinen Versuchen über die Kohlensäure zersetzende Kraft des Lichtes, welche durch eine Kupferlösung aller rothen und gelben und fast aller grünen Strahlen beraubt war, zu einem anderen Resultate kam, kann wohl nur darin seinen Grund haben, dass bei seinen Versuchsblättern in einer Mischung von Kohlensäure und atmosphärischer Luft die normale Respiration gar nie unterbrochen wurde.

Famintzin hat beobachtet, dass in einer entstärkten *Spirogyra orthospira* bei Lampenbeleuchtung schon nach 30 Minuten Amylumbildung erfolgte[1]. Dies veranlasste mich zu untersuchen, wie sich *Juglans*-Blätter im Gaslichte in einer Mischung von Kohlensäure und Wasserstoff oder in reinem Wasserstoffgase verhalten. Zu diesem Zwecke wurden in einem vollständig verdunkelten Zimmer zehn in einer Reihe aufgestellte Apparate auf jeder Seite durch 2 Schmetterlingsflammen aus 12 Ctm. hohen Candelabern, in einer Entfernung von 35 Ctm. beleuchtet. (Die Temperaturbestimmung wurde aus Versehen unterlassen.)

Nach 12 Stunden hatte sich in jeder Absorptionsröhre das Gasvolumen beträchtlich (um 3—5 CC.) vergrössert. Obwohl bei

---

[1] Famintzin verwendete das Licht einer Kerasinlampe, welches mittelst einer Sammellinse und einem sphärischen Refraktor bedeutend concentrirt und mittelst Wasser in einem Gefässe mit parallelen Wänden der meisten Wärmestrahlen beraubt wurde. Binnen 24 Stunden waren die Chlorophyllbänder mit Stärke erfüllt. „Die Erzeugung der Stärke geht nur unter dem vollen Lampenlichte und dem gelben vor; unter dem blauen wird dagegen nicht nur keine Stärke gebildet, sondern die schon vorhandene wird wie im Dunkel aufgelöst.“ Pringsheim's Jahrbücher für wissensch. Botanik, 6. Bd. p. 31.

einer so bedeutenden Kohlensäurebildung mit Bestimmtheit vorauszusehen war, dass kein Sauerstoff erzeugt wurde, so habe ich mich doch, da ich über die Wirkung künstlicher Beleuchtung bisher keine Erfahrung hatte, bei 5 Fällen der obigen Versuchsreihe durch Verbrennung mit Knallgas und bei den anderen 5 Fällen durch Einführung von Phosphorkugeln directe davon überzeugt. Es ist somit kein Zweifel, dass *Juglans*-Blätter unfähig sind, in irrespirabler Luft im Gaslichte von der angewendeten Intensität Kohlensäure zu zerlegen. Es muss aber dahin gestellt bleiben, ob dies auch bei Gegenwart von Sauerstoff der Fall ist [1].

Ueber die Amylumbildung in Pflanzen mit stärkefreiem Chlorophyll hat auch Kraus [2] sehr interessante Beobachtungen gemacht. Kraus fand nämlich, dass solche Pflanzen durch eine Lösung von doppeltchromsaurem Kali hindurchgegangenem Lichte ebenso rasch und energisch Stärke erzeugen, wie im vollen Tageslichte, dass aber auch weder bei einer Temperatur von nur 3° C. noch unter Einwirkung von Licht, welches durch eine Kupferlösung des gelben und rothen Antheiles entkleidet wurde, die Stärkebildung unterbleibt. Bezüglich der Schnelligkeit der Amylumbildung in stärkeleeren grünen Pflanzen gibt Kraus an, dass bei Spirogyra spec. dies im directen Sonnenlichte schon nach 5 Minuten geschehe.

Wenn man überlegt, wie wenig Kohlensäure von einem Chlorophyllkorne einer gesunden Pflanze während 5 Minuten oder auch $1\frac{1}{2}$ Stunden selbst unter den günstigsten Umständen zerlegt, dass schon bei einer Temperatur von 10° C. die Sauerstoffbildung durch insolirte *Juglans*-Blätter eine sehr träge ist [3],

---

[1] Nach Prillieux entwickeln sich aus einem Zweige von *Elodea canadensis* auch unter der Einwirkung des Lichtes einer Gasflamme Luftblasen. Compt. rend. tom. 69.

[2] Kraus, in Pringheim's Jahrb. für wissensch. Botomik, 7. Bd. pag. 511.

[3] Böhm, über die Bildung von Sauerstoff durch grüne in kohlensäurehältiges Wasser getauchte Landpflanzen; Sitzungsberichte d. kais. Ak. d. W. 66. Bd. 1872.

Boussingault, welcher bei seinen Versuchen nur die Absicht hatte, die niederste Temperatur kennen zu lernen, bei welcher die Sauer-

dass ferner dem durch eine hinreichend concentrirte Kupferlösung hindurchgegangenen Lichte jedenfalls nur eine sehr geringe Kohlensäure zersetzende Kraft zukommt, dass endlich das Kohlensäurequantum, welches nothwendig ist, um den Kohlenstoff für die unter den angeführten Umständen in so kurzer Zeit gebildete Stärke zu liefern, doch wohl wenigstens ein relative [1] bedeutendes genannt werden muss, so kann man sich ungeachtet der weiteren Versuche von Kraus über die Zunahme des Trockengewichtes der Cotylen während des Versuches schwer des Zweifels entschlagen, dass in den von Famintzin und Kraus beobachteten Fällen die sichtbar gewordene Stärke von der Kohlensäure stamme, welche erst soeben von dem früher stärkeleeren Chlorophyll zerlegt wurde.

In Anbetracht der angeführten, auf unseren factischen Kenntnissen über die Zerlegung der Kohlensäure fussenden Bedenken berechtigen die unerwarteten Versuchsresultate von Famintzin und Kraus, wie ich glauben möchte, vorläufig zu dem Schluss: dass in den stärkeleeren Zellen und zwar entweder in deren Inhalte oder Wandung eine organische Substanz vorhanden sei, welche zur Zeit ihrer früheren Function aus Kohlensäure und Wasser erzeugt, bei dem Stoffwechsel während des Lichtabschlusses oder Lichtmangels aber ihrer unvollständigen Assimilation wegen nicht weiter verwerthet werden konnte. Um die Form von Amylum annehmen, oder als Baustoff dienen zu können, müsste dieser hypothetische Körper noch weitere Metamorphosen erleiden, welche aber nur unter Einwirkung des Lichtes vor sich gehen könnten. Die hierzu unentbehrliche Wärme und Intensität und Qualität des Lichtes würde jedoch mit der zur Zerlegung der Kohlensäure erforderlichen nicht nothwendig zusammenfallen. Mit diesen Bemerkungen will ich

---

stoffbildung durch grüne Blätter beginnt, hat allerdings constatirt, dass, wenn man Gras- oder Lärchenblätter in Kohlensäure dem Lichte aussetzt, von einem mit den Blättern eingeschlossenen Phosphorstückchen die Nebelbildung schon bei 0·5°—3·5° C. erfolgt. Compt. rend. tom. 68, p. 410; 1869.

[1] Bei den Beobachtungen von Famintzin und Kraus befanden sich die Versuchsobjecte in ihren natürlichen Medien (in atmosphärischer Luft oder gewöhnlichem Wasser).

jedoch durchaus nicht sagen, dass die Folgerungen von Kraus, zu denen sich dieser Forscher selbst nur mit Widerstreben durch schwer wiegende Gründe bestimmen liess, unbedingt unzulässig seien. Ich meine nur, dass, um deren Richtigkeit über alle Zweifel festzustellen, noch weitere Versuche über die thatsächliche Assimilation von Kohlensäure bei unverzüglicher Stärkebildung in amylumfreien Chlorophyllkörnern nothwendig sind. Schon im vorigen Jahre hatte ich mir diese Aufgabe auf mein Ferienprogramm gesetzt, kam aber nicht dazu, es auszuführen.

Die unverzügliche Kohlensäurebildung frischer Landpflanzen in sauerstofffreier Atmosphäre ist eine so constante, dass aus der gleichbleibenden Quantität eines Gases, welches man dieselben einschliesst, mit absoluter Nothwendigkeit folgt, dass in dem angewendeten Gase entweder Sauerstoff enthalten oder dass das Versuchsobject bereits todt ist.

Wie ich in vorstehender Abhandlung erwähnt habe, ist es mir in früheren Jahren dennoch häufig nicht gelungen, bei Versuchen in Wasserstoff mit grünen Blättern im Sonnenlichte, obwohl nach 6—7stündiger Insolation nur eine sehr geringe Vergrösserung des Gasvolumens stattgefunden hatte, Sauerstoff aufzufinden. Nach einiger Überlegung musste es mir aber zweifellos sein, dass die Ursache hierfür nur in dem bei der Analyse zur Verwendung gekommenen Knallgase liegen konnte.

Es ist wohl bekannt und speciell von Meidinger[1] eingehend untersucht, dass das aus stark angesäuertem Wasser entwickelte Knallgas in Folge der Bildung von Wasserstoffhyperoxyd überschüssigen Wasserstoff enthält. Nach Bunsen[2] erhält man aber aus zehnfach verdünnter Schwefelsäure reines Knallgas.

Ich entwickle das Knallgas vermittelst des von Bunsen angegebenen Apparates seit jeher aus nur mit einigen Tropfen chemisch reiner Schwefelsäure angesäuertem Wasser. Um die

[1] Meidinger, Annal. d. Chem. u. Pharm. Bd. 88, pag. 57.

[2] Bunsen, Gasometrische Methoden, pag. 68, 69.

Reinheit dieses Gases zu prüfen, wurde dasselbe in einem Endiometer mit Wasserstoff und in einem zweiten mit Sauerstoff in entsprechender Weise verdünnt und verbrannt. Eine Reihe derartiger Analysen zeigte, dass man auf diese Weise nur verhältnissmässig selten reines Knallgas erhält; bald ist dasselbe mit Wasserstoff, bald mit Sauerstoff verunreiniget. Das nach dem Auswaschen des Apparates (d. i. nach dem Vertreiben der atmosphärischen Luft aus demselben) aufgefangene Gas enthält überschüssigen Wasserstoff. Lässt man nach längerer Gasentwicklung den elektrolytischen Apparat 2—3 Tage verschlossen[1] stehen, so enthält das dann bereitete Gas überschüssigen Sauerstoff.[2]

Das Wasserstoffhyperoxyd zerlegt sich wohl schon theilweise bei gewöhnlicher Temperatur, vollständig aber bekanntlich selbst bei der Kochhitze des Wassers nicht, so dass man es durch Abdestilliren des letzteren in concentrirtem Zustande erhalten kann. Knallgas aber, welches man aus einem in ein Becherglas mit kochendem Wasser gestellten Apparate entwickelt, ist vollkommen rein; so bereitetes Knallgas verwende ich nun ausschliesslich bei meinen Analysen.

---

[1] Um bei den vielen Analysen, welche ich zu machen hatte, das wiederholte Auswaschen zu vermeiden, wurde das Ableitungsrohr desselben mit einer geeigneten kleinen Kautschukkappe unter Quecksilber verschlossen.

[2] Dieser Überschuss ist besonders beträchtlich, wenn der Apparat nun vor oder während seiner Verwendung in kochendes Wasser getaucht wird.

Tabelle I.

Versuche in Wasserstoff im Sonnenlichte unter Wasser, am 15. August 1871. Temperaturmaximum des Kühlwassers 32° C., in den Absorptionsröhren 33° C. Dauer der Exposition von 9 $^1/_4$ bis 3 $^1/_2$ Uhr.

Volumvergrösserung in CC.	Gefundene Kohlensäure in CC.	Gefundener Sauerstoff in CC.	Überschuss in CC.	Blattvolumen in CC.
0.115	0.156	0.273	0.314	1.38
0.205	0.185	0.128	0.108	1.69
0.216	0.254	0.319	0.357	1.57
0.319	0.297	0.165	0.143	1.55
0.368	0.301	0.173	0.106	1.25

Tabelle II.

Enthält die Resultate einer gleichzeitig mit der vorigen angestellten Versuchsreihe im Dunkeln. Die Temperatur stieg in der Röhre mit dem Thermometer unter der Tuchhülle nur bis 29·4° C.

Volumvergrösserung in CC.	Gefundene Kohlensäure in CC.	Kohlensäure-Überschuss in CC.	Blattvolumen in CC.
2.808	2.980	0.172	1.65
3.245	3.559	0.314	1.58
3.485	3.896	0.411	1.31
3.741	4.147	0.406	1. 53
4.214	4.820	0.606	1.84

Tabelle III.

Versuche in Wasserstoff im Dunkeln bei einer Temperatur von 21° C., am 17. August 1871, von 9 bis 4 ½ Uhr.

Volumvergrösserung in CC.	Gefundene Kohlensäure in CC.	Kohlensäure-Überschuss.	Blattvolumen.
1.872	2.166	0.244	1.50
2.106	2.651	0.545	1.43
2.244	2.730	0.486	1.69
2.527	3.053	0.526	1.58
3.305	3.968	0.663	1.64

Tabelle IV.

Versuche in Wasserstoff bei einer Temperatur von 16° C. im Dunkeln (in einem Keller), am 20. August 1872, von 9¼ bis 4½ Uhr.

Volumvergrösserung in CC.	Gefundene Kohlensäure in CC.	Kohlensäure-Überschuss	Blattvolumen.
1.605	2.001	0.398	1.37
1.454	1.993	0.549	1.48
1.792	2.069	0.277	1.53
2.050	2.377	0.327	1.64
2.533	2.994	0.461	1.58

Tabelle V.

Versuche in Wasserstoff bei einer Temperatur von 6—7° C. im Keller unter Eiswasser, am 12. September 1872, von 9½ bis 5 Uhr.

Volumvergrösserung in CC.	Gefundene Kohlensäure in CC.	Kohlensäure-Überschuss in CC.	Blattvolumen in CC.
0.749	0.997	0.248	1.42
0.858	1.219	0.361	1.36
0.964	1.341	0.377	1.47
1.266	1.752	0.486	1.66

Das Gas des fünften Apparates dieser Versuchsreihe ging beim Einschmelzen in eine Glasröhre verloren.

Tabelle VI.

Versuche in Wasserstoff, am 25. August 1871. Die Absorptionsröhren blieben nach der ersten Ablesung von 9 bis 1½ Uhr bei einer Temperatur von 21·4° C. im verdunkelten Gaszimmer stehen und wurden dann bis 4½ Uhr dem Sonnenlichte exponirt. Die Temperatur stieg hier bis 29° C.

Volumvergrösserung in CC.		Gefundene Kohlensäure in CC.	Gefundener Sauerstoff in CC.	Überschuss in CC.	Blattvolumen in CC.
Im Dunkeln	An der Sonne				
0.758	0.279	0.101	1.120	0.184	1.56
0.790	0.144	0.210	0.938	0.214	1.21
1.003	0.172	0.264	1.067	0.156	1.54
1.043	0.114	0.236	1.147	0.226	1.39
1.247	0.164	0.302	1.481	0.372	1.54

Tabelle VII.

Versuche in Wasserstoff, am 4.—5. September 1871. Die Absorptionsröhren blieben nach der ersten Ablesung bei einer Temperatur von 19—20° C. von 7 Uhr Abends bis 7 Uhr Früh im Gaszimmer und wurden dann unter Wasser, dessen Temperatur bis 30° C. stieg, bis 4 Uhr insolirt.

Volumvergrösserung in CC.		Gefundene Kohlensäure in CC.	Gefundener Sauerstoff in CC.	Überschuss in CC.	Blattvolumen in CC.
Im Dunkeln	An der Sonne				
1.104	0.169	0.402	1.201	0.310	1.53
1.869	0.143	0.521	1.869	0.378	1.37
2.341	0.307	0.652	2.646	0.650	1.22
2.253	1.186	2.661	1.368	0.590	1.37
1.806	2.733	4.833	—	0.294	1.46
2.452	1.930	5.088	—	0.706	1.56
2.640	3.091	6.139	—	9.428	1.25
2.806	2.183	5.362	—	0.373	1.19
2.935	3.921	7.553	—	0.697	1.37
3.022	2.275	5.862	—	0.565	1.33

Tabelle VIII.

Versuche in Wasserstoff, am 16.—17. August 1872. Die Absorptionsröhren blieben nach der ersten Ablesung bei einer Temperatur von 18—20° C. von 6 Uhr Abends bis 9 Uhr Früh im Gaszimmer und wurden dann bei ziemlich ungetrübtem Himmel bis 4 3/4 Abends directe insolirt. Die Temperatur in der Röhre mit dem Thermometer stieg bis 31.7° C.

Volumvergrösserung in CC.		Gefundene Kohlensäure in CC.	Gefundener Sauerstoff in CC.	Übersehuss in CC.	Blattvolumen in CC.
Im Dunkeln	An der Sonne				
1.753	1.252	2.591	0.885	0.471	1.53
1.391	1.593	3.355	—	0.371	1.35
1.639	1.442	3.734	—	0.673	1.38
1.743	1.054	3.192	—	0.395	1.52
1.825	2.086	4.534	—	0.628	1.29
2.086	1.252	4.143	—	0.805	1.73
2.158	1.423	4.083	—	0.502	1.26
2.351	1.146	4.055	—	0·558	1.42
2.417	1.064	4.103	—	0.622	1.37
2.449	1.652	4.577	—	0.476	1.53

Tabelle IX.

Versuche in Wasserstoff im Dunkeln, am 10. und 11. August 1872 bei einer Temperatur von 19—21° C. Die Volumzunahme betrug:

von 8½ Früh bis 6½ Abends in CC.	Bis 8½ Früh in CC.	Bis 6½ Abends in CC.	Bis 8½ Früh in CC.	Summe in CC.	Gefundene Kohlensäure in CC.	Blattvolumen
0.964	1.147	0.624	0.155	2.890	3.236	1.46
1.083	0.836	0.563	0.172	2.754	2.946	1.27
1.244	1.042	0.641	0.120	2.807	3,161	1.60
1.431	0.739	0.422	0.086	2.678	3.027	1.38
1.752	0.966	0.557	0.143	3.418	4.002	1.52

Tabelle X.

Versuche in Wasserstoff im Dunkeln, ebenfalls am 10. u. 11. August 1872. Die Apparate wurden an beiden Tagen nach der jeweiligen Ablesung von einer schwarzen Tuchhülle bekleidet dem Sonnenlichte ausgesetzt. Das Temperaturmaximum betrug hier am 10. August 31·4° C., am 11. August 29·7° C. Während der Nacht standen die Röhren in den Quecksilberwannen im Gaszimmer bei einer Temperatur zwischen 19 und 20° C. Die Volumvermehrung betrug:

Von 8½ Früh bis 6½ Abends in CC.	Bis 8½ Früh in CC.	Bis 6½ Abends in CC.	Bis 8½ Früh in CC.	Im Ganzen in CC.	Gefundene Kohlensäure in CC.	Blattvolumen in CC.
2.550	0.986	1.404	0.119	5.059	5.386	1.42
2.841	0.792	1.273	0.152	4.654	4.938	1.27
2.866	1.033	1.641	0.284	5.292	5.687	1.43
3.359	0.670	0.972	0.107	5.108	5.580	1.59
3.527	0.862	1.856	0.473	6.718	7.064	1.64

Tabelle XI.

Versuche in atmosphärischer Luft im Sonnenlichte, am 13. August 1872. Die Temperatur stieg in der Röhre mit dem Thermometer während der 7stündigen Insolation auf 39.8° C.

Angewendete Luftmenge in CC.	Procentgehalt nach dem Versuche		Summe von Kohlensäure und Sauerstoff in Procenten	Gefundene Kohlensäure in CC.	Blattvolumen in CC.
	an Kohlensäure	an Sauerstoff			
25.43	4.24	16.68	20.92	1.08	1.65
26.04	3.81	17.96	21.77	0.99	1.83
26.72	2.65	17.85	20.50	0.71	1.43
27.29	3.75	18.64	22.39	1.00	1.58*
28.42	3.17	18.25	21.42	0.90	1.76

* Das Blatt dieses Versuches zeigte nach der Exposition mehrere braune Flecken.

Tabelle XII.

Versuche in atmosphärischer Luft im Sonnenlichte unter Wasser, am 16. August 1872. Das Temperaturmaximum des Kühlwassers betrug während der 7stündigen Insolation 33.4° C.

Angewendete Luftmenge in CC.	Procentgehalt nach dem Versuche		Summe von Kohlensäure und Sauerstoff in Procenten	Gefundene Kohlensäure in CC.	Blattvolumen in CC.
	an Kohlensäure	an Sauerstoff			
27.26	0.90	19.65	20.55	0.25	1.44
29.43	0.00	29.81	20.81	0.00	1.68
33.28	0.69	20.20	20.89	0.23	1.53
35.72	0.65	20.05	20.70	0.23	1.57
40.74	0.52	19.95	20.36	0.21	1.32

Tabelle XIII.

Versuche in atmosphärischer Luft im Sonnenlichte unter Wasser, am 6. September 1872. Die Temperatur des Kühlwassers stieg während der $6^{1}/_{2}$stündigen Insolation auf 30.2° C.

Angewendete Luftmenge in CC.	Procentgehalt nach dem Versuche		Summe von Kohlensäure und Sauerstoff in Procenten	Gefundene Kohlensäure in CC.	Blattvolumen in CC.
	an Kohlensäure	an Sauerstoff			
19.16	0.19	20.01	20·20	0.04	1.40
23.22	0.00	21.00	21.00	0.00	1.35
24.38	0.58	20.72	21.30	0.14	1.54
26.25	0.00	21.23	21.23	0.00	1.62
28.41	0.16	20.68	20.78	0.05	1.25

Tabelle XIV.

Versuche in atmosphärischer Luft in zerstreutem Lichte, am 19. August 1872. Die Apparate wurden in der Mitte eines hellen Zimmers mit südlich gelegenen Fenstern aufgestellt. Die Temperatur betrug während der $6^1/_2$stündigen Exposition 22—23° C.

Angewendete Luftmenge in CC.	Procentgehalt nach dem Versuche		Summe von Kohlensäure und Sauerstoff in Procenten	Gefundene Kohlensäure in CC.	Blattvolumen in CC.
	an Kohlensäure.	an Sauerstoff			
24.83	1.20	20.86	22.06	0.30	1.37
25.76	0.94	20.98	21.92	0.49	1.26
28.04	0.62	21.27	21.89	0.17	1.73
26.59	0.86	20.05	20.91	0.23	1.43
30.70	0.51	20.86	21.37	0.16	1.42

Tabelle XV.

Versuche in atmosphärischer Luft am Sonnenlichte unter Eiswasser, am 1. September 1872. Die Temperatur des Kühlwassers variirte während der 6stündigen Insolation von 6—10° C.

Angewendete Luftmenge in CC.	Procentgehalt nach dem Versuche		Summe von Kohlensäure und Sauerstoff in Procenten	Gefundene Kohlensäure in CC.	Blattvolumen in CC.
	an Kohlensäure	an Sauerstoff			
25.38	1.13	19.54	20.67	0.29	1.43
27.05	0.96	20.05	21.01	0.26	1.61
27.94	1.94	19.63	21.57	0.54	1.68
28.47	1.63	19.27	20.90	0.46	1.52
29.74	1.24	19.75	20.99	0.37	1.57

Tabelle XVI.

Versuche in atmosphärischer Luft im Dunkeln, am 26. September 1871. Die Temperatur stieg in den unter einer schwarzen Tuchhülle insolirten Apparaten bis auf 32·5° C. Bei zwei Apparaten (A) war nach 7stündiger Exposition noch etwas Sauerstoff vorhanden, bei den 3 übrigen (B) war am Schlusse des Versuches bereits aller Sauerstoff verschwunden und dem entsprechend auch eine Vergrösserung des Gasvolumens erfolgt.

A.

Angewendete Luftmenge in CC.	Procentgehalt nach dem Versuche		Summe von Kohlensäure und Sauerstoff in Procenten	Gefundene Kohlensäure in CC.	Blattvolumen in CC.
	an Kohlensäure	an Sauerstoff			
29.58	16.82	3.19	20.01	4.96	1.28
31.26	17.92	1.60	19.52	5.60	1.46

B.

Angewendete Luftmenge in CC.	Darin enthaltener Sauerstoff in CC.	Volumvergrösserung in CC.	Gefundene Kohlensäure in CC.	Fehlende Kohlensäure in CC.	Blattvolumen in CC. (je 2 Blätter).
23.68	4.964	1.860	5.472	1.352	2.74
24.53	5.039	0.803	4.864	0.978	2.25
24.88	5.206	1.116	5.189	1.133	2.91

Tabelle XVII.

Versuche in atmosphärischer Luft im Dunkeln, am 18. September 1871, bei einer Temperatur von 19—20° C. Versuchsdauer: 7 Stunden.

Angewendete Luftmenge in CC.	Procentgehalt nach dem Versuche		Summe von Kohlensäure und Sauerstoff in Procenten	Gefundene Kohlensäure in CC.	Blattvolumen in CC.
	an Kohlensäure	an Sauerstoff			
24.72	11.39	8.20	19.59	2.82	1.73
26.20	5.45	14.42	19.87	1.43	1.46
27.81	7.40	12.24	19.64	2.06	1.52
29.53	6.75	13.07	19.82	1.99	1.55
31.42	5.66	15.05	20.71	1.78	1.40

Tabelle XVIII.

Versuche in atmosphärischer Luft im Dunkeln, unter Eiswasser, bei einer Temperatur von 5—7° C., am 8. September 1872. Versuchsdauer: 7 Stunden.

Angewendete Luftmenge in CC.	Procentgehalt nach dem Versuche		Summe von Kohlensäure und Sauerstoff in Procenten	Gefundene Kohlensäure in CC.	Blattvolumen in CC.
	an Kohlensäure	an Sauerstoff			
24.85	6.84	16.23	23.07	1.70	3.27 3 Blätter
25.43	7.15	16.27	23.42	1.82	3.72 3 Blätter
26.79	6.32	16.51	22.83	1.69	3.58 3 Blätter
29.54	1.97	18.75	20.72	0.58	1.06
32.36	2.59	17.73	20.03	0.84	1.49

Tabelle XIX.

Enthält die Resultate von zwei Versuchsreihen, welche zu dem Zwecke gemacht wurden, um zu erfahren, ob in einer Mischung von Wasserstoff und Kohlensäure bei einer Temperatur von 9—10° C. unter Eiswasser im Sonnenlichte noch merkliche Mengen von Sauerstoff gebildet werden.*

Versuchszeit.	Angewendete Gasmenge (Kohlensäure und Wasserstoff) in CC.	Procentgehalt nach der Insolation an		Gebildeter Sauerstoff in CC.	Blattvolumen in CC.
		Kohlensäure	Sauerstoff		
23. August 1871 von 9½ bis 4 Uhr	20.05	17.97	9.38	1.880	1.42
	25.69	19.74	8.85	2.274	1.73
	28.57	14.37	11.25	3.214	1.26
	24.39	38.52	4.71	1.148	1.49
	23.27	41.25	3.46	0.805	1.37
	25.48	44.28	2.79	0.711	1.58
21. Juli 1872 von 9¼ bis 3½ Uhr.	20.84	38.26	2.87	0.598	1.46
	23.24	19.42	13.68	3.179	1.68
	21.37	18.43	8.57	1.831	1.37
	27.28	21.55	7.38	2.013	1.52
	26.08	42.51	3.06	0.800	1.46
	21.12	47.42	4.21	0.889	1.61

Tabellen XX und XXI.

Versuche in einer Mischung von Kohlensäure und Wasserstoff unter einer Lösung von Kupferoxydammoniak, welche durch eine 4 Ctm. dicke Schichte noch viel rothes und gelbes, durch eine 8 Ctm. dicke Schichte aber nur mehr Spuren von rothem und gelbem Licht durchliess. — 7. August 1872. — Die Insolation dauerte von 9—4 Uhr. Die Temperatur der Kupferlösung stieg bis 29° C.

* Diese Tabelle ist bereits in der oben citirten Abhandlung „Über die Bildung von Sauerstoff durch grüne etc." abgedruckt, die Gasvolumina aber wurden des leichteren Vergleiches wegen hier auf einen Druck von 760 Mllm. Quecksilber umgerechnet.

Tabelle XX. Die Apparate waren in der Mitte des Cylinders mit elliptischem Querschnitte längs des grösseren Durchmessers 8—9 Ctm. von der Wand desselben entfernt aufgestellt.

Kohlensäure-Procente der „Gasprobe".	Volumvergrösserung in CC.	Gefundene Kohlensäure in CC.	Angewendete Kohlensäure in CC.	Kohlensäure-Überschuss in CC.	Blattvolumen in CC.
28.63	3.108	10.940	7.461	0.372	1.64
29.70	3.533	11.990	8.002	0.455	1.38
30.06	2.151	8.591	6.203	0.237	1.52
30.47	2.822	10.162	6.825	0.515	1.44
32.01	1.885	9.280	7.171	0.224	1.27

Tabelle XXI. Die Apparate waren in der Nähe der Cylinderwand so aufgestellt, dass sich zwischen dieser und den Absorptionsröhren eine Flüssigkeitsschichte von 2—4 Ctm. befand.

Kohlensäure-Procente der Gasprobe.	Volumvergrösserung in CC.	Gefundene Kohlensäure in CC.	Gefundener Sauerstoff in CC.	Summe von Kohlensäure u. Sauerstoff in CC.	Angewendete Kohlensäure in CC.	Kohlensäure-Überschuss in CC.	Blattvolumen in CC.
30.95	0.365	6-714	2.185	8.898	8.345	0.533	1.56
31.07	0.217	7.531	4.270	11.701	11.319	0.582	1.38
32.51	0.275	6.877	5.146	12.023	11.496	0.527	1.64
33.68	0.166	5.314	5.325	10.639	10.045	0.594	1.42
34.17	0.318	8.379	2.808	11.187	20.543	0.644	1.52